

Title	くりこみ理論の回顧と展望(追悼講演,基礎物理学研究所の将来と物理学,基研シンポジウム)
Author(s)	宮本, 米二
Citation	物性研究 (1980), 34(2): 148-157
Issue Date	1980-05-20
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2433/90112">http://hdl.handle.net/2433/90112</a>
Right	
Type	Departmental Bulletin Paper
Textversion	publisher

## くりこみ理論の回顧と展望

筑波大 宮 本 米 二

## §1 くりこみ理論の誕生の思い出

1944年の秋、空襲のかなり激しくなってきた頃、大学3年のゼミのテーマを定めることになり、夏に朝永先生の講義を聞いて深い感銘をうけていたことと、かねがね素粒子論をやりたいと思っていましたので、躊躇なく朝永先生のゼミに参加させて頂くことをきめました。仲間に故木庭さん、早川幸男さん、福田博さんがいました。この年から東大の講師になられた先生の指導をうける機会を得たことは大変幸運だったと思います。ゼミは大変活気のあるもので、我々の愚問にも先生の明解適切な答を直ちに得ることが出来、我々の勉強意欲は大いにかりたてられました。Heitlerの輻射場の量子論を教科書として用い、場の理論の面白さを教えて頂いたわけです。空襲が次第に激しくなり、ゼミも思うにまかせず、やがて終戦をむかえました。

終戦当時、東京は焼野原になりましたが、2, 3ヶ月もすると、また勉強する意欲が少しずつ戻って参りました。一度ゼミをして頂いて、そのご指導により、木庭さん、早川さんと私とで超多時間理論, Dirac, Fock, Podolsky の多時間理論のゼミを数回行いました。

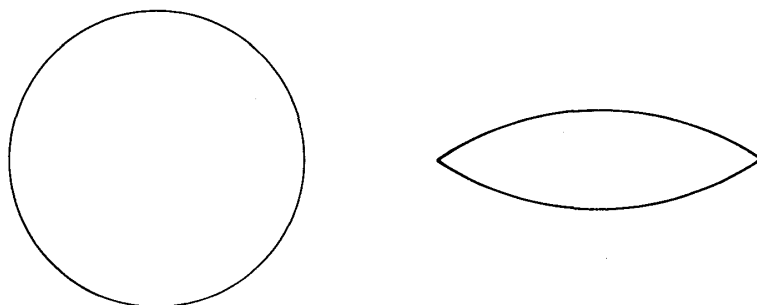
## 1.1 超多時間理論の具体化

1943年湯川先生のDiracの一般変換関数の議論に基づいた、きわめて野心的な場の理論が提出されたのですが、朝永先生は従来の場の理論の枠内で、湯川先生のアイデアを定式化の可能性を追求されて超多時間形式を発見されました。

$$\{H_I(xyz, t) - i\hbar \frac{\delta}{\delta c}\} \Psi = 0 \quad (1)$$

$H_I$  は場の相互作用のハミルトニアン。

湯川先生の理論は任意の(四次元内の)曲面上での力学変数を観測する確率振巾を考察するのに対して超多時間形式は、常に空間的曲面上の確率振巾を考察します。



湯川型

超多時間形式

図1. 一般変換関数のタイプ

場の理論の相対論的不変性の証明がきわめて複雑だったものが、超多時間理論により一目でわかるようになりました。

1946年4月大塚の焼残りの北向きの薄汚い一室で、超多時間理論を具体化するゼミが始まりました。文理大から宮島龍興先生、伊藤大介さん、田地隆夫さん、後藤捨男さん等がゼミに加わりました。最初の問題は多時間理論で縦波の消去を相対論的に行うことでした。波数ベクトル  $k_\mu$  の他に、もう一つ light like ベクトル  $L_\mu$  \*) 及びそれに直交する二つのベクトル  $e_i$  を用いて偏りを分解するというアイデアで縦波を消去した結果何が得られるかというのが先生の出された問題でした。Wiechert ポテンシャルが得られることを示したのが私の最初の仕事になりました。その appendix に早川さんの制動輻射への応用と私の電子の自己エネルギーの計算に先生の少し手を加えたのがあります。今読み直してみますと、くりこみの考えの芽生えが既にそこにあるのがわかります。つづいて超多時間理論と電子と電磁場への応用が先生と木庭さん、田地さんにより行われましたが、前年より勉強していたので理解するのに、それ程困難を感じませんでした。先生と後藤さんの中間子と電磁場への応用は中々難問だったのですが、電子の場合とことなり、光円錐の近傍から寄与があるので積分可能条件をみたすために、 $H_{int}$  に新しい項をつけ加えることにより此の問題を解決されたのを感じながら拝見しておりました。

## 1.2 場の反作用のゼミ

1947年春頃から場の反作用についてのゼミが始まりました。今から考えると、これは先生が考え抜かれた後に定められたプログラムであったように思われます。坂田先生が電子の電磁場による自己エネルギーを有限にするため導入されたスカラーの  $c$  中間子場が、散乱問題に現われる場の反作用による発散を除くのに果して有効であるかというのが先生の出された問題です。ゼミでは散乱問題の場の反作用を非相対論的に取扱った Pauli-Fierz の論文、相対論的に取扱った Dancoff の論文等が紹介されたのですが、同時に木庭さん、伊藤さんの電子の原子核による Coulomb 散乱に対する電磁場及び  $c$  中間子場の反作用の計算が始まりました。現在は計算技術が進んでいるので、それ程でもないのですが、当時は場の反作用の計算は大変困難だったわけで、計算が出来上るのに数ヶ月もかかりました。このゼミの始まる前後から、福田信之さん、南部陽一郎さん、谷純男さん、武田暁さん、山口嘉夫さん、藤本陽一さん、木下東一郎さんがゼミに参加され、ゼミは大変活気を呈して参りました。

電子の電磁場による自己エネルギーの発散を如何に解決するかという問題は、外国でも大きな問題だったわけで、一つには場の反作用をすべて無視するという Heitler の考えがありました。Bethe と Oppenheimer は赤外発散を救うのに場の反作用を考慮に入れることが必要であることを理由に Heitler の考えに反対しております。

## 1.3 Lamb Shift とくりこみ理論の発見

場の反作用の問題解決の端緒を与えたのは Lamb による水素原子の  $2S_{1/2}$  と  $2P_{1/2}$  の準位のずれの発見であります。1947年10月、それに対する Bethe の理論のコピーが手に入りました。

Dirac 理論によると本来縮退している筈の  $2S_{1/2}$  と  $2P_{1/2}$  状態の準位がずれるのは、水素原子に束

---

\*)  $R^2 = L^2 = 0$   $(RL) = 1$   $(Re_i) = (Le_i) = 0$   $e_i^2 = 1$

縛している電子が仮想光子を放出吸収することによる束縛状態の自己エネルギーに起因すると考えました。さらに Bethe は数値計算により束縛状態の自己エネルギーから自由電子の自己エネルギーを差引くと、 $2S_{1/2}$  と  $2P_{1/2}$  のエネルギー準位のずれの実験値にかなり近い値 1000 MC が得られることを示しました。ただし彼の計算は自己エネルギーの発散を有限にするために、仮想光子の運動量積分を電子の質量で切断しているのですが、恐らく相対論的にきちんと計算をすれば、積分は切断しないでも有限な値が得られるだろうと Bethe は予想しております。この Bethe の論文に刺激されて、田地さんと朝永先生は、非相対論近似で接触変換の方法を用いて、Bethe の計算をやり直し詳しく分析した結果、くりこみの考えに到達されました。くりこみの考え方は自由電子の自己エネルギーを裸の質量に加えた観測質量で色々な物理量を計算するのですが、計算の途中に現われる自己エネルギーは引去っておくというものです。このことは11月の京都の学会で発表されました。南部さんも似た様な考えを発表したので、つづいて南部さんの数式を書いたビラを借用して、先生が話をされたことを思い起されます。水素原子の準位のずれを相対論的に計算するのに、木庭さん、伊藤さんの計算と似た方法を使えるわけですが、ここで先生は超多時間理論を場の反作用の問題に応用することを考えつかれました。このやり方で木庭さん伊藤さんの計算を見直してみますと、どうも見落としがあるのではないかということに気が付かれ、木庭さん、伊藤さんが自分達の計算をやり直してみますと、くりこみの考えのみならず、c 中間子場の方法でも散乱問題の場の反作用による発散が取除けることがわかったわけです。その年の大晦日に木庭さんから頂いた速達でこのことを知り、早速大久保の研究室に行き、お話を伺いました。“大変なことになりましたね”と申上げますと、先生が満足気に深くうなずかれたことをつい昨日のこのように思い起されます。それ迄は、場の量子論は場の反作用による発散のため、その有効性に疑問がもたれていたわけですが、この発見により場の量子論の有効性に明るい見通しが出て来て、水素原子の準位のずれの相対論的計算も可能になったわけです。この結果は木庭さんと朝永先生の連名でプログレスのレターに発表されましたが、Schwinger も同じようなレターを Phys. Rev. に発表していますが、受理の日付は全く同じ 12 月 30 日です。

#### 1.4 水素原子の準位のずれの計算

1948 年、先生の指導の下に福田博さんと水素原子のずれの計算を超多時間形式でやることになりました。

$$\{V + H_I - i \frac{\partial}{\partial c}\} \Psi[c] = 0 \quad (1)'$$

$H_I$  は電子と電磁場の相互作用、 $V$  は外場  $B$  と電子場の相互作用  $V = -i c \bar{\varphi} \gamma_\mu \varphi B_\mu$

(1)' に接触変換  $\Psi[c] = \exp - i \int d^4x \times H_I \Psi[c]$  を行い

$$\{V + i \int d^4x' [H_I' V] - \frac{1}{2} \int d^4x' \int d^4x'' [H_I' [H_I'' V]] + A - i \frac{\partial}{\partial c}\} \Psi_I[c] = 0 \quad (2)$$

$$A = \frac{i}{2} \int d^4x' [H_I', H_I] - \delta m \bar{\varphi} \varphi \quad \text{が得られます。}$$

もう一度接触変換を行い、 $\Psi_I[c] = \exp - i \int d^4x' A' \Psi_{II}[c]$

$$\{V_0 + i \int dx' [H'_I V] - \frac{1}{2} \int^c dx' \int^c dx'' [H' [H'', V]] + i \int^c dx' [A', V] \cdots \cdots \} \Psi_I[c] \quad (3)$$

となります。第3項と第4項に Wick の ordering を行い、1電子に関する部分を取り出すと水素原子の準位のずれが計算出来ます。何分新しい方法なのでわからないことが多く大変苦勞しました。はじめは相対論的計算を目指したのですが、成功せず、やむなく普通の摂動に近い方法で、計算することになりました。形式的な基礎づけについては、先生自ら鉛筆を取って計算され、色々教えて頂きました。しかし計算は大変面倒で福田さんとの計算がなかなか合わず、やっと合ったのが半年以上もたってからです。計算途中で Newsweek が Schwinger も似た様な計算をしていると報道されて、彼の計算の方が先に出るのではないかと大変気をもみましたが、彼も大変手こずった様子で、なかなか発表されず、一応我々の計算がまとも、安堵の胸をなでおろしました。先生はくりこみ理論の構想を短い letter にして Phys. Rev. に発表されましたが、Oppenheimer がコメントをつけて、論文中に述べられてある光子の自己エネルギーが零にならないとあるのは、ゲージ共変性と矛盾することを指摘されました。この問題には先生は相当頭を悩まされておられる様子でした。準位のずれの計算にも光子の自己エネルギーに似たものがあるので、我々の計算についてもそれをどうするか大分議論しました。とにかく有限の部分は残しておこうということになったのですが、残した方が実験ともよく合い、今では我々の計算の結果は一般に認められている様で、ほっとしている次第です。我々の結果は、

$$E(2S_{1/2}) - E(2P_{1/2}) = \frac{\alpha}{\pi} \frac{ze^2}{6m^2 a^3} \left\{ \ln \frac{m}{2 \langle E_n - E_m \rangle_{AV}} + \frac{23}{24} - \frac{1}{5} \right\} \quad (4)$$

で、プロGRESSに1948年9月に受理されております、Kroll-Lambの計算結果と全く一致しております。彼らの結果は Phys. Rev. に10月に受理されています。Lamb が準位のずれの実験のみならず、理論的計算をも行っていることには驚かされます。

1948年秋、Rabi が来日し、東大で水素原子の準位のずれの実験の話をしました。その際彼が Columbia 大学で教えたことのある Schwinger の論文の preprint を持参しました。それを見ますと、先生の超多時間理論を借用して、電子の異常磁気能率を巧みに導いているのに感心するとともに、私が何度も試みて出来なかった相対論的計算法に成功しているのには相当ショックを受けました。しかし肝心の準位のずれの計算結果迄は出ていないのでいささか拍子抜けの感じでした。後でわかったことですが、Schwinger や Feynman の様な相対論的計算では、計算途中に現われる赤外発散を Bethe の計算値でおきかえる点がうまくゆかず、進位のずれの計算は成功しておりません。ついで、Feynman の論文の preprint が手に入りました。現在 Feynman ダイアグラムの方法といわれるものを用いて、朝永先生や、Schwinger と全く異った観点から見事に結果を出しているのに皆感心させられました。しかし証明が完全ではないので、Oppenheimer がなかなか首をたてに振らなかったといわれています。しばらくして、Dyson により朝永先生の方法と Feynman の方法との同等性が証明され、今日では Feynman の方法がもっともよく使われていることはよく知られている通りです。

光子の自己エネルギーについての Oppenheimer の批判以来、かなり長い間「光子の自己エネルギーは どうもよくわからない」<sup>\*)</sup>というのが先生の口癖になりました。それなら中性パイ中間子の二光子崩壊にも 同様なことがあるのではないかというわけで、計算した所、同様にゲージ不変と矛盾する項と、同時に現在 anomaly と呼ばれるものを副産物としてみつけました。anomaly 項  $\epsilon_{ijk} A_i F_{jk}$  を残すべきか否か色々議論がありますが、現在では  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$  の寿命を説明するのには残した方がよいことになっていますが、この anomaly 項を残すと、擬ベクトルメソン<sup>+)</sup>の  $2\gamma$ 崩壊をいかに禁止するかが問題になります。現在これがどうやら解決されているかよく知りません。

ふりかえってみますと、先生のゼミや研究を進められた方向が、あたかも水素原子の順位のずれの実験の出現を予知するように行われたということは、偶然とは言え、学問に対する深い見通しに何か天賦のものがあるように思われます。

## § 2 くりこみ理論不遇の時代(1950-1970)

### 2.1 中間子理論への応用

量子電磁力学に対するくりこみ理論の成功につづいて、当時パイ中間子が加速器で生成されたのを契機に、くりこみ理論が果して中間子論に適用出来るか否かが興味の対象になったのですが、事情はそれ程簡単ではありませんでした。パイ中間子と核子の相互作用常数  $g^2/\hbar c$  が可成り大きいので、摂動論が使えず、近似をどうするかという難しい問題に直面する破目になったからです。Dyson はくりこみ理論に従って  $\pi$ -N 散乱について大掛りな数値計算を試みたが成功せず、かえって接触変換による沢田さんの方法、朝永先生の中間結合理論、Chew の理論の方が成功を収めました(1952-3)。これらの理論は何れも仮想中間子の運動量積分で切断を用いているので、くりこみ理論は中間子論には適用出来ないのではないかという疑がもたれ、それがエスカレートして、くりこみ理論不信(不遇)の時代が長く続くことになりました。

### 2.2 くりこみ理論のハイゼンベルグ表示による研究

しかし、その中にあって、くりこみ理論を地道に研究している一群の人々がいたことは注目に値します。くりこみ理論を renormalized coupling constant のみを用いて、ハイゼンベルグ表示による定式化が試みられたわけです。私にとってくりこみ理論の最初の印象が強烈すぎて、此のような考えには思い到りませんでした。

西島さん、Lehmann, Symanzik らの研究はよく知られているところで、梅沢さん、亀淵さん、Lehmann, Symanzik の表示および高橋- Ward の恒等式はその当時の研究の成果であります。

### 2.3 分散式

この表示を用いた重要な研究は Goldberger, 宮沢さんらのパイ中間子核子散乱振巾の分散式の研究があります。散乱振巾の実数部と虚数部を、散乱振巾をエネルギーの複素関数とみたとき上半面で正則であることを用いて関係づけるもので、この関係式を分散式と呼ばれ、実験ときわめて良い一致を示しています。

---

+)  $Z \rightarrow 2\gamma$  は color の自由度の導入で禁止できます。

す。散乱振幅がエネルギー複素平面の上半面で正則であることは causality（作用が光速より早く伝わらない）が成立していることを意味し、くりこみ理論が、中間子理論についても成立していることを強く暗示していたわけです。

## 2.4 Landau の批判と Renormalization group

しかし他方で、くりこみ理論に対する Landau の批判があります。Landau の批判は一言にしていうと発散をくりこんで、発散をかくしおおせたと思っても、高エネルギー散乱を行うと、その発散が再び露呈するというものです。エネルギーが低く、大きな波長の光で電子のまわりの仮想電子陽電子対の雲の振舞をしらべると、裸の電荷+まわりの雲を合わせたものをくりこんだ荷電として観測しますが、エネルギーが高く、波長が短い光でしらべると、電子のまわりの雲の中央に局在する裸の無限大の荷電のみを観測することになり、したがって再び発散が姿を現わすことになるわけです。Landau は発散の困難を除くには重力場の影響を考えに入れねばならぬと予想しています。此の Landau の議論を数学的に精密化したのが、Gell-Mann と Low です。観測する光の波長のかわりに、くりこみを行うエネルギーを色々かえたとき effective charge がどのように変るかというように定式化することにより、彼らは Renormalization group の考えに到達したわけです。この方法が現在粒子物理のみならず、物性物理に於いても大きな役割を演じていることはよく知られている通りです。

## 2.5 流れ代数と Chiral dynamics

ハイゼンベルグ表示の振幅に PCAC を仮定した流れ代数の方法により、低エネルギーパイ中間子、K 中間子に関する現象はよく説明されています。更に現代では chiral dynamics としてきれいな形で整理されていますが、此の時代に見出された hadron の現象は chiral dynamics に集約されているといっても過言ではないと思います。chiral dynamics を dynamical に導き出すのは可成り難しい未解決の問題として残されております。

## 2.6 公理的な場の理論

Dyson のくりこみ可能性を証明した論文を読むとすぐにわかることは、くりこみ理論が、きわめて数学的に完結した体系であることです。古典解析力学が一つの完結した体系であることと事情がきわめてよく似ています。くりこみ理論を公理系から再構成しようとする数学的な試みがあっても不思議ではないように思われます。

## 2.7 素粒子モデルの発展

場の理論が低滞している一方で、素粒子のモデルが素晴らしい発展をとげたことはよく知られている通りです。

表 モデルの発展の年代譜

1953	Strangeness	西島, Gell-Mann
1956	坂田モデル	坂田
1958	SU(3)群	小川, 山口
1964	Quark	Gell-Mann
1964	Charm quark	原, 牧

1964	SU(6)	崎田
1965	color	Han, 南部, 宮本
1972	t, b quark	小林, 益川

かくして、次に来るべき理論の発展の素材は全く整ったことになります。

### § 3 くりこみ理論の復興 (1971— )

#### 3.1 Weinberg—Salam 理論と Q. F. D.

南部さんが素粒子の超伝導モデルを提案されたことがあります (1962)。それは超伝導の B. C. S 理論にならって, chiral symmetry の spontaneously breaking を引き起させて, P. C. A. C. を説明しようとするものです。この南部さんの研究に示唆をうけて symmetry の spontaneously breaking をくりこみ可能な形で行う試みが, Higgs (可換ゲージ場 1964 年) と Kibble (非可換ゲージ場 1967 年) により行われました。他方で Fermi 以来, 電磁場と弱い相互作用を統一しようというアイディアが, 西欧の物理学者にくちづてに伝わっていたように見受けられますが, Weinberg と Salam は独立に Higgs—Kibble 理論にもとづいて, このアイディアを定式化するのに成功しました (1967)。しかし, この理論のくりこみ可能性の証明はかなり難行して, 数年後 t'Hooft が, dimensional regularization を用いて, はじめてその証明に成功したわけです (1971)。今迄長い間くりこみ不可能と信じられていた弱い相互作用が Weinberg—Salam 理論でくりこみ可能となり, くりこみ理論が再び脚光を浴びるに到りました。Weinberg 理論は, はじめは電子とニュートリノのみを扱っていましたが, すべての quark, lepton に拡張され, Q. F. D と呼ばれていることはよく知られている通りです。Higgs スカラー中間子,  $W^\pm$ ,  $Z$  中間子の未発見をのぞけば, Weinberg Salam 理論の予言は, すべて実験的に確立しているように思われます。

$\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} c \\ s \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} t \\ b \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\mu \\ \mu \end{pmatrix}$	$\begin{pmatrix} \nu_\tau \\ \tau \end{pmatrix}$	$W^\pm, Z, A$	Higgs
Quark			Lepton			Vector Meson, Scalar Meson	

表 Q. F. D に現われる粒子

#### 3.2 Q. C. D

$e + p$  の deep inelastic scattering の実験から, quark は高エネルギーで自由粒子のように振舞うことが知られていたのですが, Gross と Wilczek は renormalization group の方法を用いて, color local gauge field の asymptotic freedom を証明し, 上述の事実が理解出来ることを示しました (1973)。更に Politzer は  $e + p$  の deep inelastic scattering を Wilson の operator product expansion の方法を用いて分析し, きわめてよい実験との一致を得ています。Q. C. D は Q. F. D と異なり exact local gauge symmetry を保持しますが, やはりくりこみ可能です。長らく強い相互作用をやって来たものにとっては hadron の相互作用には摂動計算は使えぬものと信じこんでいただけに, 摂動計算が有効な Q. C. D の出現を, ある種の感慨をもって受取らざるを得ません。前出の chiral dynamics は, Q. C. D に対する



quark-antiquark の補正として理解されるのでしょうが、可成り難しい問題だと思います。かくして、くりこみ理論は、Q. E. D. につづいて、Q. F. D. と Q. C. D. と、重力を除いた、現在知られている素粒子のすべての相互作用に大きな成功を収めたことになります。

### 3.3 Flavor と Color. Grand unification

Flavor と Color は一体どう異なるのか。quark が現在未発見ですから、quark の概念が将来変更をうけることがないともいえません。しかし、それがどう変ろうと、flavor は量子数として確立しています。一方、color は quark の存在に強く結びついており、quark の概念とともに変わり得る可能性を含んでいます。color を支持する事実を列記しておきます。

表 Color を支持する事実

1.  $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$
2. SU(6) による Baryon の 56 次元表現
3.  $R = \sigma(e^+e^- \rightarrow h^+ + h^-) / \sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+ \mu^-)$
4. Quark の閉じ込め

quark, および、くりこみ理論を信ずる立場に立てば、見掛上の違いにもかかわらず、flavor も color も一つの群の中に一緒にしてみようという考えができるわけです。一つの思考実験ですが、その試みは、grand unification といわれています。更に、将来の高エネルギー加速器の発見するすべての粒子を一つの群に統一するのが grand unification の壮大なプランです。

### 3.4 くりこみ理論に限界があるか？

くりこみ理論で素粒子論のすべてのことが理解出来るのであろうか。それとも何か限界があるのであろうか。以下にくりこみ理論の限界になりそうに思われるものを、あげてみます。

(A) quark の閉じ込めが、くりこみ理論の範囲で可能か。

その可能性を列挙しよう。

- a. Infrared divergence を用いるもの (Cornwall–Tiktopoulous)
- b. Magnetic Confinement (Nielsen–Olesen)
- c. Lattice gauge theory (K. G. Wilson)
- d. Electric confinement by Mandelstam Duality
- e. Instanton and Merron Callan, Dashen, Gross

(c), (d) が最も注目されているが、果して Q. C. D. の範囲で実現可能であろうか、未解決であります。一番簡単な解決は自由 quark を発見することであることはいうまでもありません。e + p の deep inelastic scattering の精密な実験から何か新しい事実が見えて来る可能性もあります。

(B) Higgs Scalar はあるか。

Higgs Scalar がなく、南部さんの超伝導モデルのように、フェルミ粒子と反フェルミ粒子の束縛状態のようなものではないか。(例えば最近の寺沢さんの議論) この場合、くりこみ理論の範囲内で、Q. F. D. Q. C. D. を再構成することが可能であろうか。Dynamically symmetry breaking (Cornwall–Norton) の可能性も見逃してはならないと思います。

(C) Quantum Gravity

grand unification のプログラムが上述 (A) (B) の条件をみたし、重力を除いたすべての素粒子の相互作用の理解を可能にするのであろうか。さらには重力場もくりこみ可能になし得るのであろうか。

朝永先生は、くりこみ理論は完全でなく、限界があるものと考えておられたようです。最後にくりこみ理論に限界が現われたときに役に立つと思われる朝永先生の御言葉を引用して此の話を終りたいと思います。

『ばくぜんとしていますが、僕の考えでは時間空間は無限小まで考えられないのではないですか。或いは時間空間の方の自由度が封じられてくるわけです。そして、その見返りみたいなものがある。その分だけ別の自由度であられざるを得ない。』

長年にわたり色々御指導を頂いた朝永先生に感謝しながら、謹んで先生の御冥福を祈りたいと思います。

---

講演の際、時間の都合上、3.4 (B), 3.4 (D), 2.5 を省略しました。

佐藤： ありがとうございます。それでは御質問がありましたら。

牧： 最後に見せていただいた朝永先生の言葉についてですが、同じ趣旨のことを基研 15 周年シンポジウムでも発言しておられたと思います。(注)

(注) 「基礎物理学の進展」(基礎物理学研究所 15 周年シンポジウム 1968. 10. 28 - 31, 理論物理学刊行会, 1969 年) p 43 に朝永先生のコメントがある。

「……ついでに私もあいまいなことを言ったことがあるんで、無限大が出て来るのはどうも時間空間の Continuum で自由度が多すぎるからだだろうと、自由度が無限にあるというところから場の量子論というのは、普通の粒子の量子論みたいに量子化してうまくゆかない。ですからなんかこの空間の自由度をへらす必要があるんじゃないか。ところが、それをへらすとへらした分だけどこかに現われなくちゃいけない。その現れが素粒子の数いっぱい出て来たということではなかろうかと言ったことがあるんです。けれども、これはただ言っただけで、どうしたらそういうことが出来るかというところまでは行ってないんですけれども、どうも私の予言が適中するんじゃないかとも思う。もし湯川理論が成功すればですよ、でももし成功したときには私もそう言ったことがあるということを申し上げますからどうぞ悪しからず。」

なお、「素粒子の本質」(武谷, 坂田, 中村編 岩波書店 1963 年)の p 318(朝永, 坂田, 中村の座談会「これからの方向について」)に宮本氏の引用された言葉が出てくる。前後をふくめてここに再録しておこう。

「今の考えのままでは矛盾なしにいかないということは確からしいですね。ですから、それが矛盾なしにいかないという、そのいかなさのところでは何かあるらしい。ばくぜんとしていますが僕の考えでは時間空間を無限小までは考えられないのではないか。ある意味では時間空間の方の自由度が封じられてくるわけです。そしてそのはね返りみたいなものがある。その分だけ別の自由度であらわれざるをえない……」。

とにかく、対応原理というのは古い理論にあった要素が増しも減りもせず新しい理論の中に入ってくることでしょう。こういうフィロソフィをとれば、時間空間という自由度をある小さいところから捨てようとするれば、捨てたものがなくなっちゃうんじゃなくて、どこかにそれに対応するものが残っている。そういうものが何かということが新しい自由度といえるかもしれない。」

この座談会の行われた日付は1962年7月31日と記してある。先生は「あいまい」とか「ばくぜん」とか言っておられるが、両者は全く同趣旨の考えであり、単なるその場の思い付きのご発言ではないのであろう。

川口： くりこみが出来るということは理論をつくるうえで指導原理になりうるか？ 出来ない理論はどう考えるのか。

宮本： このごろの統一理論 GUT ではどこまでもくりこみが出来ると考えて、やれるところまでやるという立場です。

中西： 重力場ではくりこみが出来ない。

宮本： その場合に、朝永先生の言葉が役に立つかもしれない。